

논문 2004-41TC-10-13

T-슬릿 부설에 의한 소형 원편파 마이크로스트립 패치 안테나 설계

(Design of Compact Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna with T-slits Loading)

김 영 두*, 신 경 섭*, 원 충 호*, 이 흥 민**

(Young Do Kim, Kyung Sup Shin, Chung Ho Won, and Hong Min Lee)

요 약

본 논문에서는 크로스 개구결합 급전 구조의 소형 GPS 단말기용 안테나를 소형화하기 위해 대칭적인 4개의 T-슬릿이 방사 패치에 부설되었다. 부설된 슬릿 주위에 표면 전류 경로의 증가는 등가적인 인덕턴스 성분을 유지하고 공진형 안테나의 저차 모드 공진 주파수를 낮추어 안테나의 소형화 특성을 개선함을 확인하였다. 슬릿 부설에 따른 공진 주파수는 2.545GHz에서 1.575GHz로 약 44.65%까지 감소시킬 수 있었으며, 안테나 소형화를 위해 부설된 슬릿이 원편파 기본 동작 모드에 미치는 영향을 법선 전기장 성분을 통해 확인하였다. 측정된 안테나의 임피던스 대역폭(VSWR \leq 2)과 3dB 축비 대역폭은 21MHz와 19MHz로 양호한 특성을 나타내었다.

Abstract

In this paper, a compact patch antenna with four T-slits fed by crossed aperture coupling is proposed for miniaturized portable GPS handsets. The mechanism for compact size antenna is investigated with the behavior of the currents on the radiating patch. The equivalent surface current path due to the slits is lengthened, reducing the resonant frequency at a fixed patch size. The results of embedded T-slits for compact antenna size show that the resonant frequency is significantly lowered from 2.545GHz to 1.575GHz, corresponding to a 44.65% antenna size reduction compared to reference design. Experimental results show that good CP radiation patterns are obtained and impedance bandwidth (VSWR \leq 2), 3dB axial ratio are about 21MHz, 19MHz at the center resonant frequency, respectively.

Keywords : compact antenna, circularly polarized, GPS antenna, slit loading

I. 서 론

정보화 사회로의 발전은 무선 이동통신의 개인용 단말기 수요를 증가시켰고, 이러한 휴대형 단말기는 휴대 목적을 위해 소형화, 경량화가 요구되어 진다. 안테나가 소형화되면, 이동성과 단말기 디자인 측면에서는 유리하지만, 이득과 대역폭이 감소하는 단점으로 인해 다른 부품의 소형화에 비해 상대적으로 안테나 부분은 소형화의 진척이 미미하였다. 그러나, 최근에는 무선랜,

GPS(Global Position System) 기능을 활용한 네비게이션 시스템, 무선 인터넷, 블루투스 등 새로운 어플리케이션의 등장으로 새로운 수익을 창출할 수 있는 파생 정보 상품이 속속 등장하고 있고, 국내/외에서도 화재 및 조난 등의 위험상황을 대비한 응급구조 서비스의 법제화 추세와, GPS 기능 및 LBS(Location-Based Service) 시스템을 개인 이동통신과 연동하여 운용할 수 있도록 많은 연구 개발이 집중되고 있다.

일반적으로 GPS 대역(L1: 1.575GHz)의 소형화된 특성을 갖는 패치 안테나를 구현하기 위해서는 비 유전 상수값(ϵ_r)이 높은 세라믹 유전체 위에 방사 패치를 구

* 학생회원, ** 정회원, 경기대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering Kyonggi University)
접수일자: 2004년5월16일, 수정완료일: 2004년10월13일

현하거나^[1], 방사 패치 모서리를 전기적으로 단락시키기 위해 단락판(단락핀)과 칩저항을 부설하여 기본 저차모드(TM_{01})의 영점 전압 위치를 변경하여 효과적으로 공진 주파수를 낮추는 방법들은 제한된 임피던스 대역폭과 표면파를 증가시켜 안테나 효율을 떨어뜨리는 단점들을 나타내었다^{[2][3]}. 또한 방사패치의 실효 전류 길이를 증가시키기 위해 미언더 라인 형태로 방사패치를 구현하거나^[4], 방사 패치를 3차원 구조로 확장한 folded (double-folded) 형태의 패치 안테나들은 소형화된 안테나를 위한 경쟁력 있는 방법이지만 GPS 시스템에서 요구하는 편파 특성(RHCP)을 만족하지 못하는 단점들이 존재한다^[5].

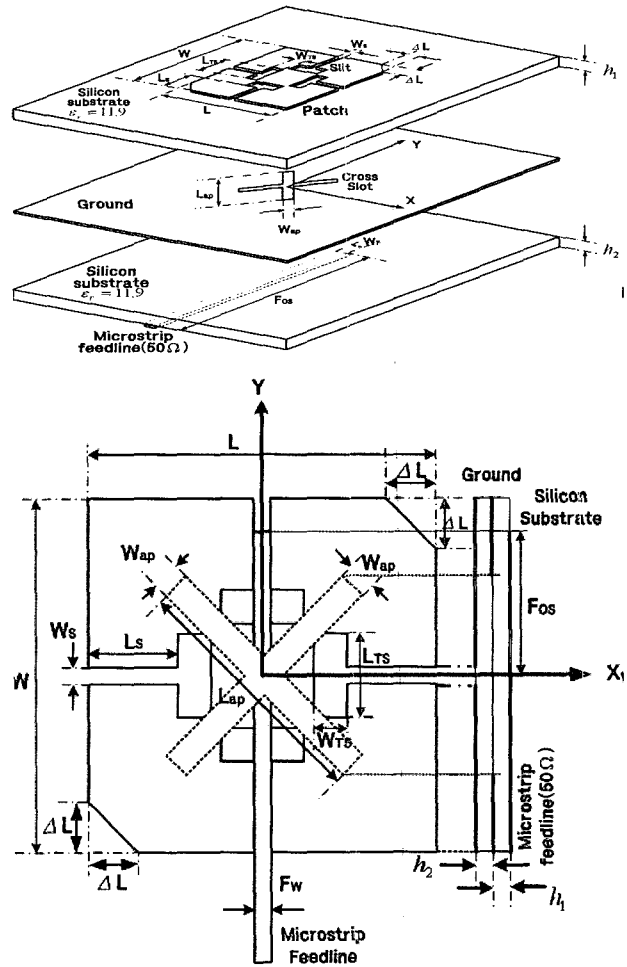
따라서 본 논문에서는 원편파 방사특성을 나타내는 방사 패치에 적절한 슬릿 부설에 의해 패치상에 분포하는 표면 전류의 실효 경로를 증가시켜 동일 크기의 방사 패치에 비해 효과적으로 공진 주파수를 낮추어 소형화된 안테나를 구현할 수 있는 기술적 방법을 제시하였다.

II. 본 론

1. 슬릿 부설에 의한 안테나 소형화

마이크로 스트립 패치 안테나의 소형화를 위해 방사 패치에 적절한 슬릿을 부설하여 안테나의 소형화를 이루는 방법은 기존의 안테나 소형화 방법에 비해 다양한 장점을 지닌다. 첫째로 방사 패치에 슬릿을 부설할 경우 안테나와 접지면 사이에 축적되는 에너지 성분의 감소로 Q-factor가 감소하여 마이크로 스트립 안테나의 협대역 특성을 개선한다. 둘째로 제한된 방사 패치의 면적에 적절한 슬릿 부설은 다양한 전류의 경로를 확보할 수 있어 이중 대역 및 다중 대역에서 동작하는 안테나를 쉽게 설계 할 수 있는 유연성을 제공한다. 이러한 구조에서 낮은 주파수와 높은 주파수의 주파수 비(FR: Frequency Ratio)는 부설된 슬릿의 설계 변수값에 따라서 손쉽게 변경될 수 있어 설계 중심 주파수를 바꾸는데 효과적이다. 셋째로 기존의 방사 패치에 슬릿을 부설함으로써 다른 안테나의 전기적인 성능을 저해하지 않고 안테나 제작 오차에 의한 특성 변화가 심하지 않는다는 장점을 지닌다.

슬릿 부설에 의해 소형 안테나를 구현하는 원리는 방사 패치의 전류 흐름을 연장할 수 있도록 적정 슬릿을 부설하여 실효 공진 길이를 증가시키는 구조로 직육면체의 기본 방사 패치를 변형하는 것이다. RF 고주파 회



$$W \times L = 14.4 \times 14.4, h_1 = h_2 = 0.65, F_{OS} = 4.2$$

$$W_{ap} \times L_{ap} = 0.6 \times 10.2, W_s \times L_s = 0.6 \times 7.7$$

$$\epsilon_1 = \epsilon_2 = 11.9, F_w = 0.5, \Delta L = 1.6 \text{ - (unit: mm)}$$

그림 1. T-슬릿을 갖는 GPS 수신기용 소형 패치 안테나
Fig. 1. Compact patch antenna with T-slits for GPS Receiver system.

로의 고밀도화, 실장 면적의 축소화를 위한 복합 부품들의 모듈화, 유닛화 추세에 맞추어 본 논문에서 제시한 슬릿 부설에 의한 소형 GPS용 패치 안테나 구조를 그림 1에 나타내었다.

설계된 안테나는 비유전율(ϵ_r) 값이 11.9이고, 기판의 두께가 0.65mm인 실리콘 기판에 설계되었다. 단일 급전의 원편파(RHCP) 특성을 갖는 패치 안테나를 설계하기 위해서 모서리가 잘린 방사 패치에 전류의 실효길이를 증가시켜 안테나를 소형화하기 위해 동일한 중흥비를 갖는 4개의 T-슬릿이 방사 소자에 대칭적으로 부설되어 있다.

2. 안테나 설계 변수의 분석

안테나 소형화 측면에서 슬릿 부설에 따른 영향을 비교하기 위해서 동일한 방사 패치 크기에 4개의 T-슬릿 유무에 따른 공진 주파수 변화를 그림 2에 나타내었다. 대칭적인 4개의 T-슬릿이 존재하지 않을 경우 2.545 GHz의 공진 주파수는 슬릿 부설에 의해서 1.575GHz 까지 약 970MHz 정도 감소하였다. 기관의 전기적 특성이 동일한 경우 1.575GHz 공진 주파수를 특성을 갖는 안테나의 종횡비($L \times W$)는 약 26mm로 본 논문에서 제시한 모델에서는 14.4mm로 약 44.65%의 방사 패치의 감소 효과를 나타내었다.

소형화된 안테나를 위해 부설된 슬릿이 공진 주파수 변화에 미치는 영향을 살펴보기 위해 T-슬릿을 구성하는 $W_S \times L_S$ 설계 변수를 $0.5 \times 4mm$ 로 고정시키고 $W_{TS} \times L_{TS}$ 설계 변수에 대한 공진 주파수 변화를 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)에서는 T-슬릿의 폭을 1.2mm로 고정시키고 슬릿의 길이를 0.9mm에서 1.6mm로 증가시켰고, 그림 3(b)에서는 T-슬릿의 길이를 3.8mm로 고정시키고 슬릿의 길이를 0.6mm에서 1.2mm로 증가시켰다.

슬릿의 길이와 폭을 증가시킬수록 공진 주파수는 현저히 감소하는 경향을 나타냄을 알 수 있다. 이와 같이 T-슬릿을 구성하는 폭과 길이의 증가는 부가적인 인덕턴스 성분을 유도하여 공진 주파수를 감소시키므로 방사 패치를 소형화하는 가장 중요한 설계 변수임을 확인할 수 있었다.

표면 전류의 실효 길이를 증가시켜 안테나를 소형화하기 위해 부설된 슬릿은 방사 패치의 표면 전류 분포를 변화시키고, 특히 이러한 변화는 슬릿의 형상에 따라 크게 의존한다. 따라서 슬릿의 형상에 따른 표면 전

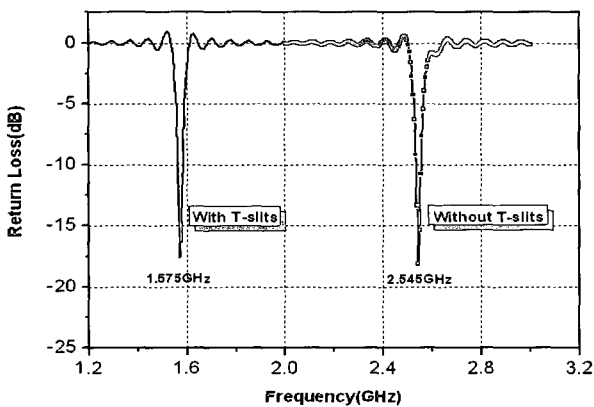
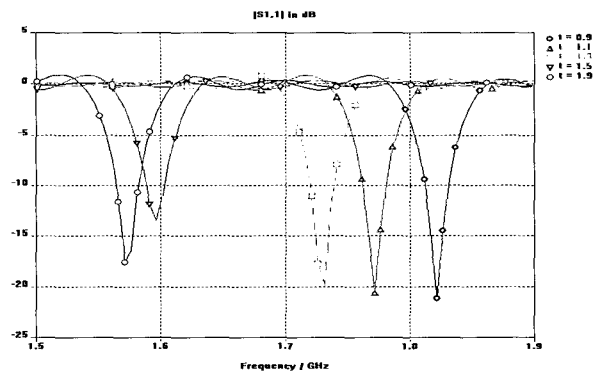


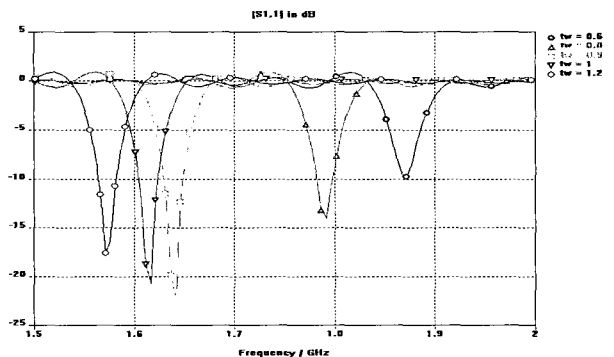
그림 2. 슬릿 부설에 따른 공진 주파수 변화
Fig. 2. Resonant frequency with/without slit loading.

류 분포와 공진 주파수와의 관계를 분석하기 위해 대칭적인 4개의 T-슬릿 유무와 위상 이동에 따른 방사 패치의 표면 전류 분포의 벡터 플롯을 그림 4에 나타내었다. 원편파를 형성하는 반시계 방향의 표면 전류의 회전 흐름은 슬릿이 존재하지 않을 때 방사 패치에 비교적 넓게 분포된 형태에서 4개의 T-슬릿이 존재할 때 슬릿 중심에 집중되어 회전함을 확인할 수 있다. 즉, 방사 패치 중심에 위치하는 크로스 개구면에 의해 자계 에너지 밀도는 개구면이 위치한 패치 안테나 중심에 집중되고, 대칭적인 4개의 T-슬릿이 존재할 때 방사 패치의 표면 전류 분포는 슬릿 주변으로 회전하게 된다. 회전된 표면 전류 분포는 안테나의 전기적인 전류의 경로를 증가시키고, 물리적으로 증가된 전류의 경로는 등가적으로 인덕턴스 성분(ΔL)을 유기시킨다. 증가된 인덕턴스 성분에 의해서 공진형 안테나인 마이크로스트립 패치 안테나의 공진 주파수는 슬릿의 길이가 증가 할수록 낮아지게 된다.

본 논문에서는 단일 급전의 원편파 동작 모드를 위해



(a) T-슬릿의 길이에 의한 변화($L_{TS} = 1.2mm$)



(b) T-슬릿의 폭에 의한 변화($L_{TS} = 1.2mm$)

그림 3. 슬릿의 크기 변화에 따른 공진 주파수 변화
Fig. 3. Resonant frequency as a function of slit size.
(a) Resonant frequency as a function of T-slit length ($W_{TS} = 1.2mm$) (b) Resonant frequency as a function of T-slit width ($L_{TS} = 1.2mm$)

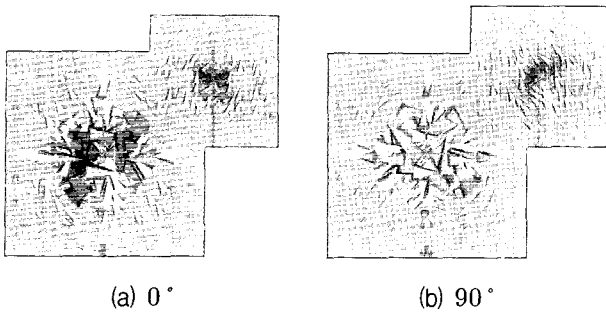


그림 4. 방사 패치 표면 전류 분포
Fig. 4. Surface current distribution on the radiating patch.

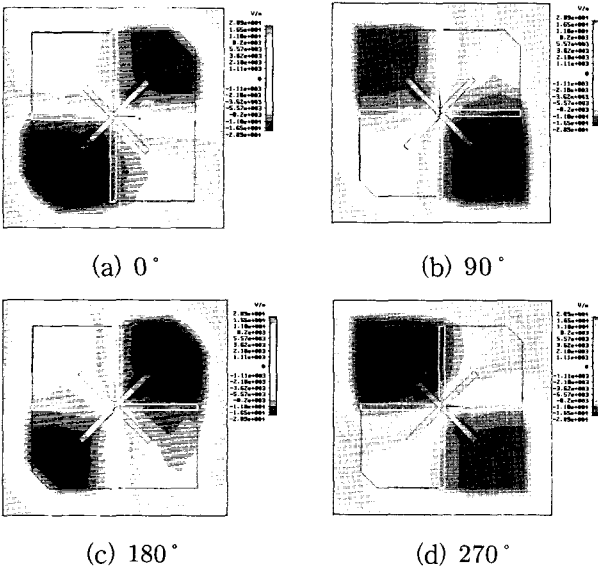
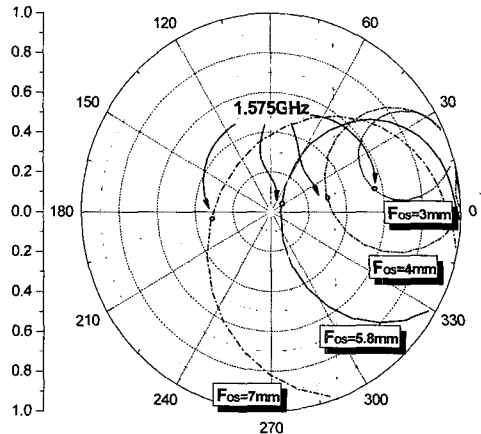


그림 5. 법선 전기장(peak)의 Contour Plot.
Fig. 5. Contour plot for normal electric field as a function of phase.

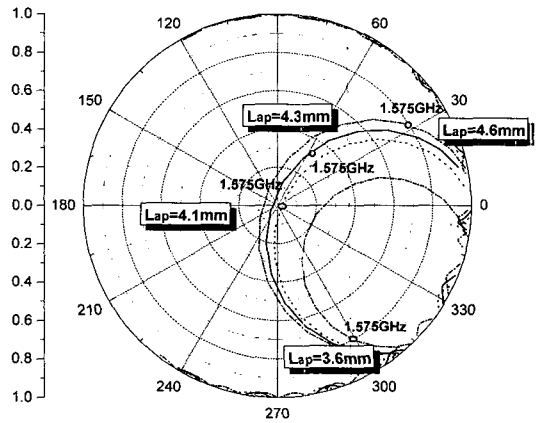
패치 안테나의 대각선 방향으로 perturbation segment를 형성하였고, 이와 같이 모서리가 잘린 패치 안테나는 일반적으로 두개의 서로 다른 직교 편향을 가지는 동작 모드(ϕ'_a , ϕ'_b)를 가지게 된다. 안테나 소형화를 위해 부설된 4개의 슬릿이 이러한 기본 동작 모드에 미치는 영향을 알아보기 위해 위상 이동에 따른 법선 방향의 전기장의 contour plot를 그림 5에 나타내었다.

대각선상으로 존재하는 동작 모드가 위상 이동과 함께 반시계 방향으로 이동함을 볼 수 있다. 즉, 원편파(RHCP)를 형성하기 위한 전기장의 회전 방향은 안테나를 소형화하기 위해 부설된 슬릿에 의해 크게 교란되거나, 다른 안테나 성능을 저해하지 않고 모서리가 잘린 패치 안테나의 기본 모드와 유사하게 동작됨을 볼 수 있다.

안테나 임피던스 매칭을 위해서는 크로스 슬롯 중심에서 개방 스텐브를 구성하는 마이크로 스트립 라인의 v길이(F_{os})와, 슬롯의 어드미턴스 값을 결정하는 개구



(a) 개방 스텐브 길이에 따른 임피던스 궤적의 움직임



(b) 개구면의 길이에 따른 임피던스 궤적의 움직임

그림 6. 개방 스텐브와 개구면의 길이에 따른 임피던스 궤적의 움직임.

Fig. 6. Impedance locus as a function of open stub and aperture length. (a) Impedance locus as a function of open stub. (b) Impedance locus as a function of aperture length.

면의 길이(L_{ap})가 중요한 설계 변수로, 본 논문의 안테나 구조에서 개방 스텐브 길이와 개구면의 길이에 따른 임피던스 궤적을 그림 6에 각각 나타내었다.

개방 스텐브의 길이가 3mm에서 7mm로 증가할수록 임피던스 궤적의 크기가 커지면서, 공진 주파수($f_0 = 1.575GHz$) 지점이 스미스차트의 단락 회로 위치로 이동함을 볼 수 있다. 또한 개구면의 길이(L_{ap})를 3.6mm에서 4.6mm로 증가시킴에 따라 일정 저항원을 유지하면서 공진주파수 지점이 스미스 차트상에 용량성 영역에서 유도성 영역으로 이동함을 볼 수 있다. 이러한 결과는 안테나의 입력 임피던스의 저항성분(resistive part)과 리액턴스 성분(reactance part)을 결정하는 주된 설계 요소가 개구면의 길이와 개방 스텐브의 길이가 됨을 보여준다.

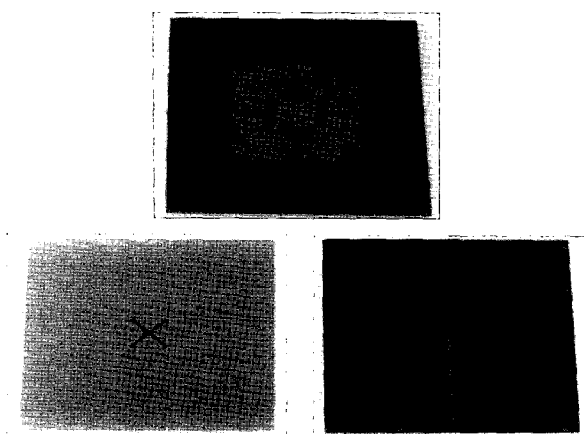


그림 7. 제작된 T-슬릿을 갖는 소형 원편파 안테나
Fig. 7. Fabricated compact Circular Polarized antenna with T-slits.

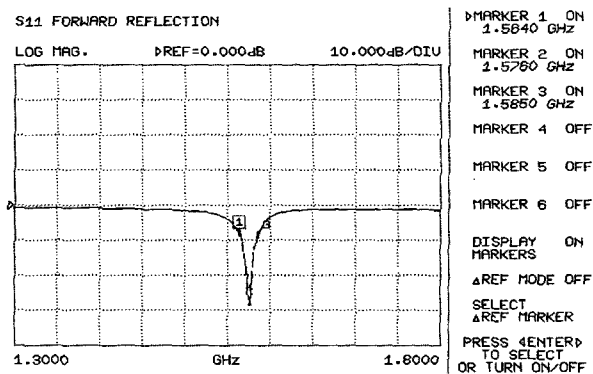


그림 8. 제작된 안테나의 반사 손실
Fig. 8. Measured return loss of fabricated antenna.

3. 안테나 제작 및 측정

제작된 T자 형태의 슬릿이 부설된 GPS 시스템용 마이크로 스트립 패치 안테나를 그림 7에 나타내었다. 제작된 안테나의 기판은 비 유전 상수(ϵ_r)가 11.9이고 두께(h_2)가 0.635mm인 실리콘 기판을 사용하였고, 방사 패치와 접지면, 마이크로스트립 급전라인은 전도성 물질(Ag)로 도포되었다.

그림 8에서는 측정된 안테나의 반사 손실 특성을 나타내고 있다. $VSWR \leq 2$ 기준 임피던스 대역폭이 21MHz로 GPS 시스템에서 요구하는 사양을 만족하고 있다. 기존의 GPS용 패치 안테나 제품에 비해 박형의 소형화된 안테나 성능을 나타내고 있어 RF Front-end 부품의 소형화 추세에 부응할 수 있는 경쟁력 있는 안테나 설계 기술로 사료된다.

설계된 안테나의 방사 패턴과 축비 특성을 그림 9와 10에 각각 나타내었다. GPS 통신환경에서는 전체 방위에 걸쳐 양각으로 수신 가능한 지향성이 요구되는데, 슬릿 부설에 의해 큰 왜곡 없이 대칭적인 패턴이 유지

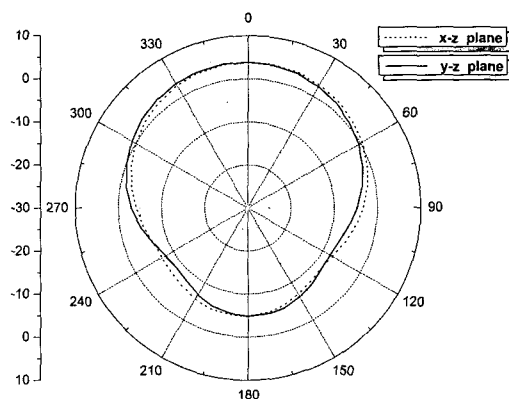


그림 9. 측정된 GPS 안테나의 방사 패턴
Fig. 9. Measured radiation pattern of GPS antenna.

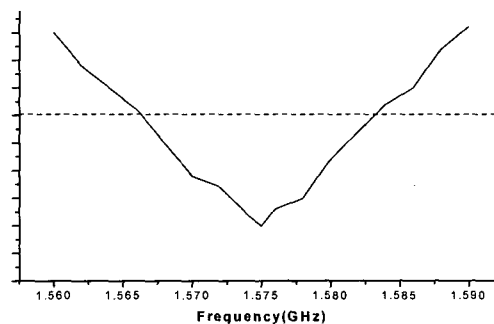


그림 10. 측정된 GPS용 안테나의 축비 특성
Fig. 10. Measured axial ratio of GPS antenna.

되어 이러한 조건을 만족하고 있다. 설계된 안테나의 이득은 2.8dBi의 특성을 나타내었고, 3dB 축비 대역폭은 약 19MHz로 양호한 특성을 얻을 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 RF 시스템의 SOC(System On Chip)화와 MIC 및 MMIC 기술과 호환성을 고려하여, 기존 방사 패치에 전기적인 전류 흐름의 경로를 증가시키기 위해 4개의 T-슬릿을 부설하여 소형화 특성을 개선한 GPS 대역의 패치 안테나를 설계 하였다. 이러한 슬릿의 삽입으로 전체적인 방사 패치의 크기를 35% 이상 감소시킬 수 있었다. 방사 패치의 표면 전류 분포로부터 부설된 슬릿 주위에 전류 흐름이 집중되는 현상이 전류의 실효 길이를 증가시켜 공진 주파수를 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

설계된 안테나는 3dB 축비 대역폭과 임피던스 대역폭이 각각 19MHz와 21MHz로 향후 이동통신 환경에서 소형 GPS용 안테나로 응용될 수 있을 것으로 판단된다. 여기에 내용을 입력하세요.

참고 문헌

[1] T. K. Lo, C. O. Ho, Y. Hwang, E. K. W. Lam, and B. Lee, "Miniature aperture-coupled microstrip antenna of very high permittivity," Electron. Lett., vol. 33, pp. 9-10, Jan. 1997.

[2] K. L. Wong and Y. F. Lin, "Microstrip-line-fed compact broad band circular microstrip antenna with chip-resistor loading," Microwave Opt. Technol. Lett., vol. 17, pp. 53-55, Jan., 1999.

[3] J. H. Lu, C. L. Tag and K. L. Wong, "Slot-coupled compact broadband circular microstrip antenna with

chip-resistor and chip-capacitor loadings," Microwave Opt. Technol. Lett. vol. 18, pp. 345-349, Aug., 1998.

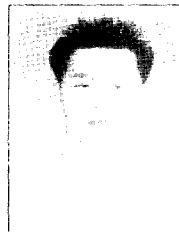
[4] J. H. Lu, and K. L. Wong, "Slot-loaded meandered rectangular microstrip antenna with compact dual-frequency operation," Electron. Lett. vol. 34, pp. 1048-1050, May., 1998.

[5] F. R. Hsiao, and K. L. Wong, "Compact planar inverted-F patch antenna for triple-frequency operation," Microwave Opt. Technol. Lett., vol. 33, pp. 459-462, 2002.

저자 소개



김영두(학생회원)
 2000년 2월 경기대학교
 전자공학과 (공학사)
 2002년 2월 경기대학교
 전자공학과 (공학석사)
 2002년 3월~현재 경기대학교
 전자공학과 박사과정
 <주관심분야: 안테나 설계 및 해석, RF 수동소자, RFID, PBG 구조 해석>



신경섭(학생회원)
 2000년 2월 경기대학교
 전자공학과 (공학사)
 2002년 2월 경기대학교
 전자공학과 (석사과정)
 <주관심분야: 안테나 설계 및 해석, RF 수동소자>



원충호(학생회원)
 2002년 2월 연세대학교 대학원
 (공학석사)
 2002년 3월~현재 경기대학교
 전자공학과 박사과정
 <주관심분야: 안테나 설계 및 해석, RF 수동소자>



이홍민(정회원)
 1972년 2월 연세대학교
 전자공학과(공학사)
 1974년 2월 연세대학교
 전자공학과(공학석사)
 1990년 2월: 연세대학교
 전자공학과 (공학박사)
 1991년 3월~현재 경기대학교 전자공학과 교수
 <주관심분야: 안테나 설계 및 해석, 전파전파, RF>